

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh nekonvenčních metod obrábění
(Unconventional Machining Methods Proposal)**

Student:

Jiří Kubíček

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Kubíček

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh nekonvenčních metod obrábění
Unconventional Machining Methods Proposal

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Nekonenční metody obrábění.
3. Návrh vhodné technologie pro vybrané součásti.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje: I. díl, Řezné nástroje*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2006. ISBN 80-7078-941-7.
- [5] HUMÁR, A.; PÍŠKA, M. *Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály*. MM Průmyslové spektrum, Speciální vydání, 2004, 110 s. ISSN 1212-2572.

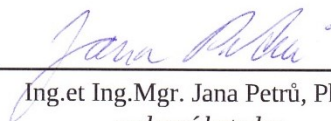
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

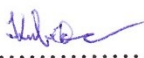
V Ostravě 19. 5. 2014

Podpis studenta 

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19. 5. 2014


.....
podpis

Jiří Kubíček
Písařov 84
789 Štítý

Anotace bakalářské práce

Kubíček, J. *Návrh nekonvenčních metod obrábění*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 55 s, Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem nových metod obrábění. V první části práce jsou popsány nekonvenční metody obrábění. V další části jsme si popsali stroje na kterých budeme obrábět vybrané součásti. CNC frézování a drátové řezání zde nahradíme řezáním na vodním paprsku. Závěrem práce pak porovnáme výsledky experimentů, popíšeme si jejich výhody, nevýhody a jako poslední budeme mít technické a ekonomické zhodnocení.

Anotation of bachelor thesis

Kubíček, J. *Unconventional Machining Methods Proposal*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 55 p. Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bachelor thesis deals with proposal Unconventional machining methods. In first part of bachelor thesis are described unconventional machining methods. In next part we described machines on which we will machine. CNC milling work and wire cutting we will replace the cutting the water in there. At the end of the bachelor thesis we will compare results of the experiments, we will describe the advantages, disadvantages and at last we will have technical and economic evaluation

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1. Obecná charakteristika daného problému	10
1.1. Popis firmy Klein & Blažek	10
2. Obecné pojmy a terminologie	12
2.1 Princip obrábění	12
2.2 Rozdělení konvenčních (klasických) metod obrábění	13
2.2.1. Frézování	13
2.2.2. Vrtání	14
2.2.3. Řezání vnitřních závitů	14
2.2.3. Broušení	14
3. Nekonenční metody obrábění	15
3.1. Nekonenční metody tepelným účinkem	16
3.1.1. Elektroerozivní obrábění	16
3.1.2. Elektrojiskrové hloubení	17
3.1.3. Elektrojiskrové řezání (drátové řezání)	19
3.1.4. Obrábění paprskem plazmy	20
3.1.5. Obrábění laserem	21
3.2. Nekonenční metody elektrochemickým nebo chemickým účinkem	23
3.2.1. Elektrochemické obrábění	23
3.2.2. Chemické obrábění	23
3.3. Nekonenční metody mechanickým účinkem	24
3.3.1. Obrábění ultrazvukem	24
3.3.2. Obrábění vodním paprskem	24

4. Návrh vhodné technologie pro vybrané součásti	28
4.1. Současná technologie výroby	32
4.1.1. Popis stroje Fanuc α -0iD + CNC obráb. centrum MCFV 1060 NT	32
4.1.2. Postup výroby u jednotlivých desek	36
4.2. Nová technologie výroby	38
4.2.1. Popis stroje PTV WJ3020B-1Z	38
4.2.2. Postup výroby u jednotlivých desek	40
4.3. Materiály obrobených součástí	43
5. Diskuze experimentu	44
5.2. Posouzení stávající technologie	44
4.2. Posouzení nové technologie	46
6. Technicko-ekonomické zhodnocení	48
7. Závěr	50
Seznam použité literatury:.....	51
Seznam obrázků, grafů a tabulek	53

Seznam použitých značek a symbolů

Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka drsnosti
ISO		mezinárodní norma
C		uhlík
Si		křemík
Mn		mangan
P _{max}		maximální procento fosforu
S _{max}		maximální procento síry
Cr		chrom
V		vanad
EDM		elektroerozivní obrábění
PBM		obrábění paprskem plazmy
LBM		obrábění paprskem laseru
EBM		obrábění paprskem elektronů
ECM		elektrochemické obrábění
CHM		chemické obrábění
USM		ultrazvukové obrábění
WJM		obrábění paprskem vody
H1		opěrná deska horní číslo 1
H2		opěrná deska horní číslo 2
H3		opěrná deska horní číslo 3
D1		opěrná deska dolní číslo 1
D2		opěrná deska dolní číslo 2
D3		opěrná deska dolní číslo 3
VD		vodící deska

Úvod

V současné době se každá firma snaží zdokonalovat v technických pokrocích, cílem je vytvářet co nejkvalitnější výrobky, které budou vyhovovat stanoveným normám. Výrobky by měly mít co nejlepší vlastnosti jako např. vysoké pevnostní parametry, dobré fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti. Zároveň se snaží, aby jejich výroba byla co nejlevnější, nejkratší a šetrná k životnímu prostředí. Proto se některé klasické metody obrábění (např. soustružení, frézování, vrtání, hoblování, broušení apod.), zaměňují za metody nekonvenční (obrábění elektroerozivní, paprskem plazmy, paprskem laseru, vodním paprskem a dalšími).

Tato práce se skládá z několika částí. Jako první je teoretická část ve které jsou popsány vybrané konvenční metody a nekonvenční metody obrábění. Ve druhé polovině práce je část teoretická. Jsou zde informace o obráběných součástech, popisy strojů, postup výroby a vyhodnocení, nejprve u současné technologie drátového řezání firmy Klein & Blažek s.r.o. a poté u navržené technologie řezání vodním paprskem firmy Zámečnictví-Beran s.r.o. Závěrem pak je technicko-ekonomické hodnocení obou metod.

1. Obecná charakteristika daného problému

Nekonvenční technologie obrábění se využívají při výrobě různých druhů součástí, především u těch, které mají složité tvary a jsou z těžko obrobitelných materiálů. Klasickými metodami bychom těžko tyto materiály obráběli a některé výrobky se složitými tvary ani nevyrobili. Nekonvenční metody jsou čím dál více uplatňovány, na rozdíl od klasických metod obrábění, jelikož jsou levnější a také rychlejší, takže nám ušetří spoustu času, který se dá využít jinde.

1.1. Popis firmy Klein & Blažek

Společnost **Klein & Blažek spol. s r.o.** je již více než 30 let dodavatelem obráběných a tvářených kovových dílů pro automobilový průmysl. Firma sídlí na severní Moravě blízko hranice České republiky s Polskem v malém městečku Štítý. Společnost Klein & Blažek spol. s r.o. se vyprofilovala jako osvědčený a spolehlivý dodavatel většinou jednotlivých kovových lisovaných a obráběných, technicky náročných dílů s vysokou sériovostí pro zákazníky z automobilového průmyslu. Společnost s více než třicetiletou tradicí dodávek do automobilového průmyslu a systémy jakosti zavedenými a certifikovanými podle všech potřebných standardů je v současné době často poptávána jak tradičními zákazníky, tak i řadou nových potenciálních zákazníků z různých oborů. [3]

Firma nabízí svým partnerům kvalifikovanou spolupráci při vývoji procesu, plánování jakosti, výrobě a povýrobním servisu kovových dílů, zpracovávaných technologiemi tváření, obrábění, svařování, tepelného zpracování, válcování profilů, montáže a drobných elektrických výrobků. Obchodní spolupráce s partnery zvučných jmen nutí společnost beze zbytku dodržovat požadavky zákazníků, ať už jde o množství, termíny nebo jakost dodávek. [3]

Kvalita výroby má základ v zavedeném a stále zdokonalovaném integrovaném systému managementu, který je organizován podle normy ISO TS 16949. Systém jakosti je zákazníky hodnocen pravidelnými audity a podnik věnuje rozvoji tohoto systému velké úsilí a finanční prostředky. Strategickým záměrem společníků je trvalé zvyšování hodnoty společnosti. Z tohoto důvodu dávají společníci přednost maximálnímu reinvestování

vytvořeného zisku. Stálým zlepšováním organizace, pracovních podmínek, technologické základny a výchovou pracovníků vytvářejí optimální podmínky pro rozvoj podniku a jeho konkurenceschopnost. [3]

Klein & Blažek s.r.o. chce vyrábět nejen kvalitně, ale i šetrně k životnímu prostředí.



Obr.1.1 Klein & Blažek spol. s r.o. závod 1 (lisovna) [3]



Obr.1.2 Klein & Blažek spol. s r.o. závod 2 (tírna) [3]

2. Obecné pojmy a terminologie

2.1 Princip obrábění

Obrábění je technologický proces, u kterého se odděluje nežádoucí materiál. U povrchu, který obrábíme se tak mění tvar, rozměry a jakost za pomoci následujících účinků. [1]

Účinky:

- mechanické
- elektrické
- chemické
- jejich vzájemnými kombinacemi

Pod pojem obrábění patří veškeré strojírenské technologie, jako jsou slévání, tváření, řezání, svařování, tepelné zpracování, úprava povrchu a montážní práce. [1]

Soustava obrábění se skládá z těchto čtyř částí:

- obráběcí stroj
- řezný nástroj
- obrobek
- přípravek

Obrobek je objekt obrábění. Je to součást buď právě obráběná nebo součást již obrobená. Charakteristika obrobku je dána podle geometrického hlediska svými rozměry a tvarem jednotlivých již opracovaných ploch. [1]

Přídavek je nežádoucí vrstva materiálu. Tato vrstva je mezi obráběnou a obrobenou plochou obrobku a je potřeba ji odstranit obráběním. [1]

Odebíraná vrstva je část přídavku přikloněná k ploše řezu, která je odřezávána obráběcím nástrojem, zejména břitem. Odebíráním vrstvy vznikají třísky. [1]

Tříska je odříznutá odebíraná vrstva materiálu obrobku, která se po odříznutí navíc deformuje. U klasických metod jako například soustružení, frézování, vrtání apod. vznikají velké třísky. U konvenčních metod se nevytváří klasická tříska, ale z materiálu bývají oddělovány zejména částčky elementárních rozměrů. [1]

2.2. Rozdělení konvenčních (klasických) metod obrábění

- Soustružení
- Frézování
- Vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání
- Hoblování a obrážení
- Protahování a protlačování
- Broušení

2.2.1. Frézování

Frézování je velmi rozšířená metoda obrábění. Jeho hlavní předností je velká výkonnost při velice dobré kvalitě povrchu obrobeného materiálu. Stroj pro frézování se nazývá frézka, frézovací nástroj fréza. Frézování má velké využití. Používá se pro obrábění rovinných, tvarových i rotačních ploch. Může se použít také u obrábění drážek různých profilů, ale i pro obráběními závitů a ozubení. [2]

Při frézování vykonává hlavní rotační pohyb vícebřitý nástroj. Vedlejší pohyb je posuvný, který může být buď přímočarý nebo kruhový a vykonává jej obrobek. Některé moderní stroje mají plynule měnitelné posuvy, které se dají realizovat ve více směrech zároveň. Jedná se o víceosá obráběcí centra. Proces řezání bývá přerušovaný z důvodu, že každý zub odřezává krátké třísku, které mají proměnlivé tloušťky. [2]

2.2.2. Vrtání

Touto metodou se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Provádí se zejména dvoubřitým nástrojem. Nástrojem je zde vrták, který vykonává hlavní pohyb (rotační). Hlavní pohyb může vykonávat i obrobek, ale to jen ve výjimečných případech. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný a vykonává jej také nástroj. Při obrábění bývá osa vrtáku kolmá směrem na obráběnou plochu. [2]

2.2.3. Řezání vnitřních závitů

Pro strojní i ruční řezání vnitřních závitů se používají tzn. závitníky. Jsou vyráběny z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů, a to povlakované i nepovlakované. Závitník je v podstatě šroub s náběhovým kuzelem, ve kterém jsou vytvořeny břity jednou až osmi drážkami. Potřebných řezných úhlů u břitů je dosaženo vhodným tvarem drážek a podbroušením. Výběr vhodného závitníku závisí na vlastnostech obráběného materiálu. Výroba závitů patří mezi poslední operace ve výrobním procesu. [2]

2.2.3. Broušení

Broušení je jedna z hlavních dokončovacích metod. Materiál se ubírá velkým množstvím nahodile orientovaných a tvarově nepravidelných břitů neboli zrn brusiva. Tyto břity jsou spojeny pojivem. Broušení se používá zejména k obrábění všech kovů, keramiky, skla, ale i dřeva a plastů. Brousit se dají i nejtvrďší materiály. Nejpresnější bývá broušení strojové u kterého povrch obrobku dosahuje vysokých přesností i malých drsností obrobené plochy. [9]

Hlavní přednosti broušení jako dokončovací operace:

- velká přesnost (1 až 3 μm)
- vysoká přesnost i geometrických (kruhovitost i pod 0,2 μm)
- malá drsnost obrobené plochy ($R_a = 0,8$ až 0,2 μm)
- broušením lze obrábět i velmi tvrdý materiál (kalenou ocel, slinuté karbidy, tvrzenou litinu atd.)
- broušením se dají na součásti obrábět velké plochy najednou

3. Nekonvenční metody obrábění

U těchto metod se nepoužívá standardní řezný nástroj, u kterého lze definovat pracovní části nástroje (např. čelo, hřbet, břit, ostří atd.). Materiál zde ubíráme účinky tepelnými, chemickými nebo mechanickými (převážně abrazivními), ale také se dají vzájemně mezi sebou kombinovat. U nekonvenčních metod se netvoří klasické třísky. [2]

Tyto metody se používají především tam, kde nelze konvenčními metodami hospodárně obrábět nové konstrukční materiály s vysokou pevností, tvrdostí a houževnatostí, dále pak materiály odolné proti opotřebení (titanové a jiné „superslitiny“, karbidy, keramika apod.). Dále se používají k obrábění těžko dostupných a složitých tvarů. [2]

Základní charakteristika nekonvenčních technologií: [2]

- rychlost a výkonnost obrábění nezávisí na mechanických vlastnostech obráběného materiálu
- materiál nástroje nemusí být tvrdší a pevnější než obráběný materiál,
- možnost obrábění složitých tvarů součástí,
- možnost zavedení do plné mechanizace a automatizace
- možnost zvýšení technologičnosti konstrukce, sériovosti výroby a snížení pracnosti výroby
- současně s výrobou dochází někdy k cílené změně vlastností povrchové vrstvy, zejména zvýšená odolnost proti korozi, zvýšení únavové pevnosti apod.

Dělení podle účinků oddělování materiálu: [2]

a) oddělování materiálu tepelným účinkem:

- elektroerozivní obrábění (Electro Discharge Machining - EDM),
- obrábění paprskem plazmy (Plasma Beam Machining - PBM),
- obrábění paprskem laseru (Laser Beam Machining - LBM),
- obrábění paprskem elektronů (Electron Beam Machining - EBM).

b) oddělování elektrochemickým a chemickým účinkem:

- elektrochemické obrábění (Electro Chemical Machining - ECM),
- chemické obrábění (Chemical Machining - CM, CHM).

c) oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- ultrazvukové obrábění (Ultrasonic Machining - USM),
- obrábění paprskem vody (Water Jet Machining - WJM, Abrasive Water Jet Machining - AWJM).

Tab. 3.1 Posouzení vhodnosti nekonvenčních metod pro opracování vybraných druhů konstrukčních materiálů. [6]

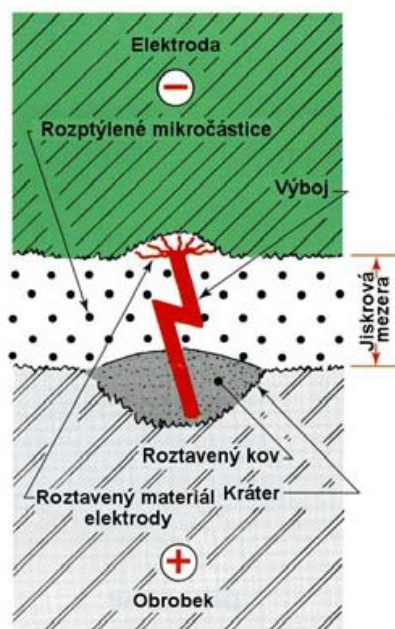
Obráběný materiál	Nekonvenční metody obrábění							
	Mechanické účinky		Tepelné účinky				Chemické účinky	
	USM	WJM	EDM	EBM	LBM	PBM	CHM	ECM
Hliník	3	2	2	2	2	1	1	2
Hořčík	2	2	1	2	2	1	1	1
Vysokoleg. oceli	3	1	1	2	2	1	2	1
Titan	2	1	1	2	2	2	2	2
Žárupevné oceli	1	1	1	1	3	3	3	2
Keramika	1	1	4	1	1	4	3	4
Plasty	2	2	4	2	2	3	3	4
Hodnocení použití: 1- optimální; 2 – vhodné; 3 – méně vhodné; 4 – nevhodné								

3.1. Nekonvenční metody tepelným účinkem**3.1.1. Elektroerozivní obrábění**

Princip tohoto obrábění lze popsat tak, že při vzájemném přiblížení obrobku s nástrojem (elektrodou) na který je přivedeno elektrické napětí, dochází k elektrickému výboji. Následně jsou tavením a odpařováním oddělovány mikroskopické částice materiálu ve tvaru dutých kuliček, které jsou odplavovány dielektrickou kapalinou (petrolej, vodní

sklo, solné roztoky, ...). Díky tomuto následnému vyplavení a odstranění z prostoru obrábění dochází k dělení nebo opracování obrobku do požadovaného tvaru či rozměru. [2]

Největší výhodou této metody je skutečnost, že ji lze použít tam, kde všechny ostatní selhávají, a to zejména při obrábění problematických tvarů, materiálů a v neposlední řadě i velmi přesných rozměrů. Pro účinnost elektroerozivního obrábění není určující ani tak tvrdost materiálu, jako jeho vodivost, teplota tavení a kvalita. Touto metodou lze dosahovat přesnosti obrábění v řádu tisícín milimetru a drsnosti povrchu $Ra\ 0,2$, což v praxi znamená, že mnohdy lze nahradit i broušení, a to zejména v místech, kde je to jinak technologicky vyloučené. [12]



Obr. 3.1 Elektroerozivní obrábění [2]

3.1.2. Elektrojiskrové hloubení

Jedná se o jednu ze základních metod elektroerozivního obrábění. U této metody se vytváří převážně vnitřní plochy složitých tvarů, zápusťek, střížných nástrojů, apod., u kterých nelze obrábět jinými metodami. [2]

Výhody:

- možnost obrábění veškerých vodivých materiálů
- možnost výroby součástí složitých tvarů

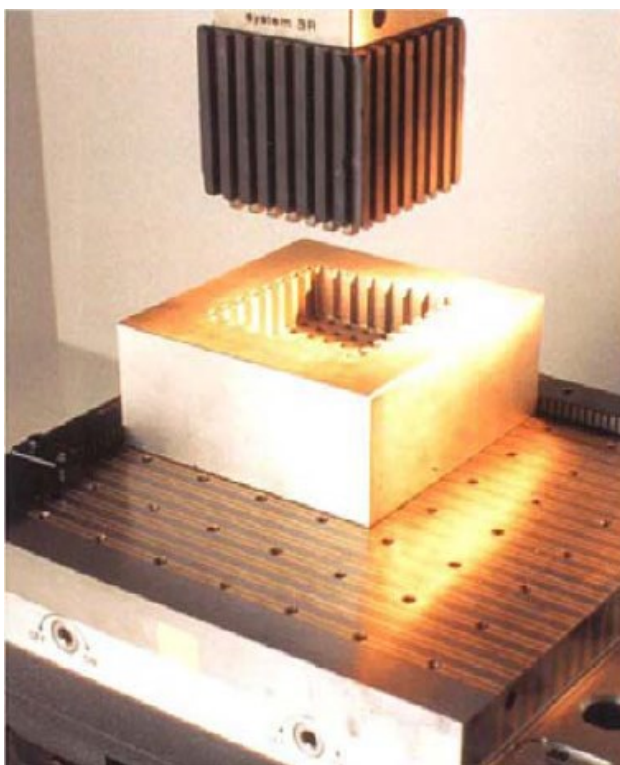
- obrobek není mechanicky zatěžován
- při výrobě ploch složitých tvarů se snižuje pracnost
- výroba nástrojových elektrod je jednoduchá a levná
- na hranách obráběného materiálu nevznikají žádné otřepy
- výrobní proces se provádí na CNC strojích, takže lze plně automatizovat

Nevýhody:

- obrobek se musí v průběhu obrábění ponořit do kapaliny
- nepřímá úměra mezi produktivitou obrábění a jakostí povrchu obrobené plochy
- jakost obrobeného povrchu závisí na mnoha faktorech, které nelze předem spolehlivě určit
- nízká produktivita při obrábění měkkých materiálů

Metoda elektrojiskrového hloubení se vyznačuje minimální šířkou řezu a uplatňuje se při zejména při výrobě střížných a lisovacích nástrojů, dále pak dělením velmi tvrdých a pevných materiálů. Elektrodou je tenký drát, který se průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu. Drát je napínán konstantní silou a prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. [2]

Elektrody jsou vyráběny z mědi a jejích slitin, molybdenu, případně povlakované dráty obsahující vysoké procento zinku. [2] Dále se používá grafit, který lépe opracovává materiál, je lehčí a také daleko levnější než měď.



Obr. 3.2 Elektrojiskrové hloubení [2]

3.1.3. Elektrojiskrové řezání (drátové řezání)

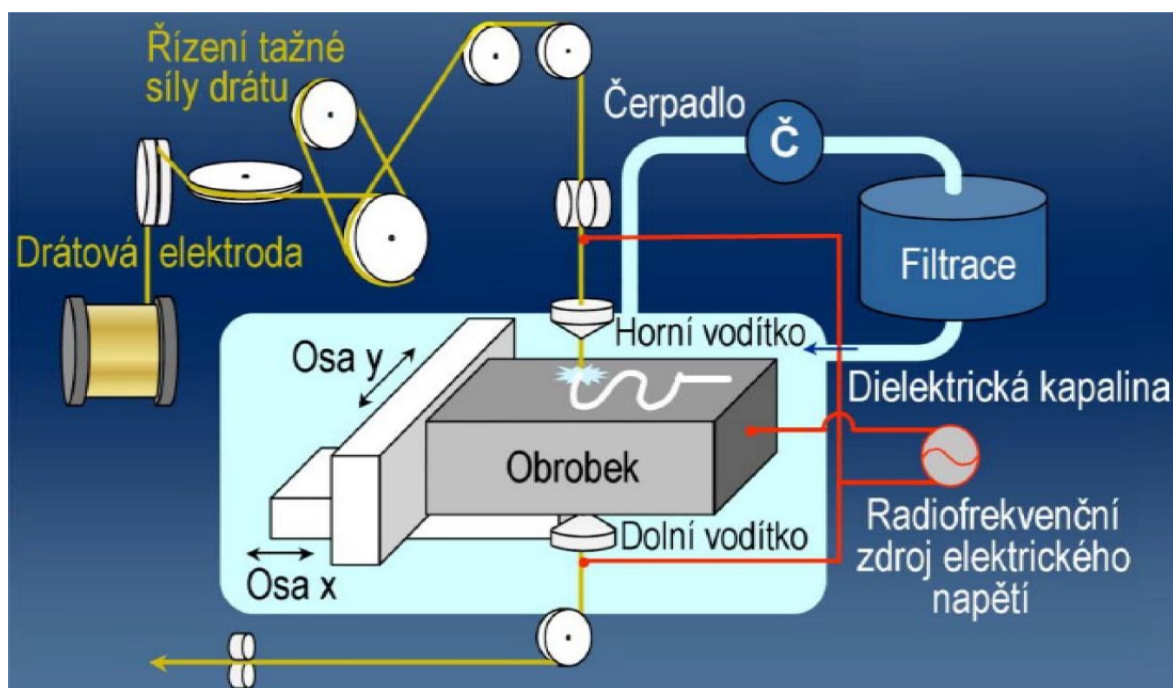
Uplatňuje se především při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi pevných a tvrdých materiálů (např. elektricky vodivých keramických materiálů, slinutých karbidů, kalených ocelí, titanových slitin, „superslitin“ atd.). Elektrodoou je zde tenký drát nejčastěji mosazný, napjatý mezi dvěma rameny stroje s přesným vedením. Drát se pomocí speciálního zařízení průběžně odvíjí z cívky (kvůli zamezení opotřebení) a přes vodicí zařízení prochází místem řezu. Místo řezu je zaplněno dielektrickou kapalinou. [2]

Pro vyřezávání vnitřních otvorů se musí do materiálu předem předvrtat malý otvor pro drát a to buď před zakalením, anebo na hloubičce po zakalení. Drát se pak do otvoru zavlékne, což některé moderní stroje dovedou automaticky. Řezání si pak nevyžaduje přítomnost obsluhy. [2]

Průměry drátů mohou být 0,03 až 0,35 mm (nejpoužívanější jsou dráty o průměru 0,25 mm). Dráty bývají vyráběny z mědi a jejích slitin, ale nejčastěji se používají dráty z mosazi, která se snadno pracovává a výroba bývá podstatně levnější než u jiných

materiálů. Pro velmi jemné řezy se používají dráty z molybdenu o průměru 0,03 až 0,07 mm. Dále jsou také velmi často používány povlakované dráty s jádrem ze slitiny mědi a povlakem, obsahujícím vysoké procento zinku – jádro umožňuje práci s vysokými reznými rychlostmi, povlak udržuje stabilní výboj a zaručuje vysokou jakost povrchu obrobene plochy. [2]

Pohyb stolů pro upnutí obrobku je u řezacích strojů řízen CNC systémem, který zajišťuje přesnost odpovídající nástrojařským pracím. Stroje mohou být navíc vybaveny CNC řízeným nakláněním drátové elektrody v rozsahu 0° až 30° , což umožňuje vyřezávat kuželovité a jiné složitější tvary. [2]



Obr. 3.3 Elektrojiskrové řezání [2]

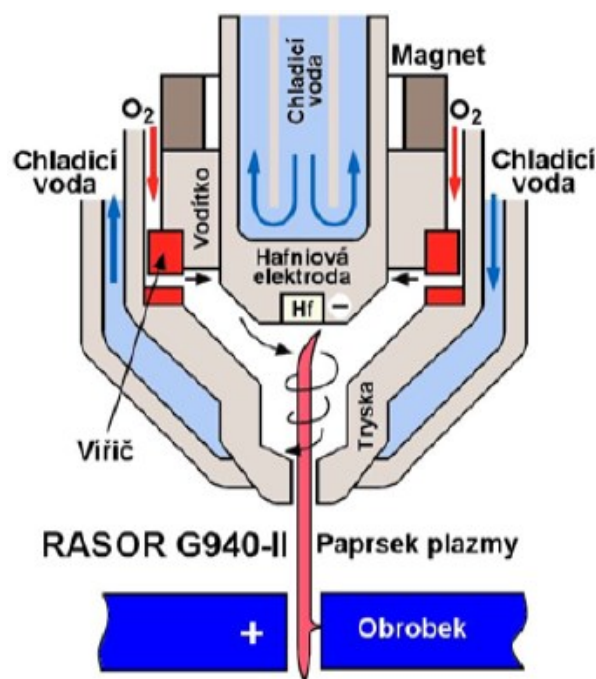
3.1.4. Obrábění paprskem plazmy

Při tomto způsobu obrábění je materiál odtavován, odpařován a rozprašován paprskem plazmy, která vystupuje z hořáku vysokou rychlostí. Plazma je tepelný vysoce žhavý, vodivý plyn, který obsahuje směs volných elektronů a má vysokou teplotu ($30\,000^\circ\text{C}$ i více). Proces obrábění je tak intenzivní, že se částice obráběného materiálu odtavují velmi

rychle a tepelně ovlivněná vrstva nepřesáhne 1 mm. Vzhledem k velké rychlosti odpovídá přesnost hrubovacím operacím a řezání různých materiálů. [10]

Materiály které lze řezat paprskem plazmy:

- všechny druhy ocelí
- mosaz
- hliník
- měď
- nerez
- další kovové slitiny.



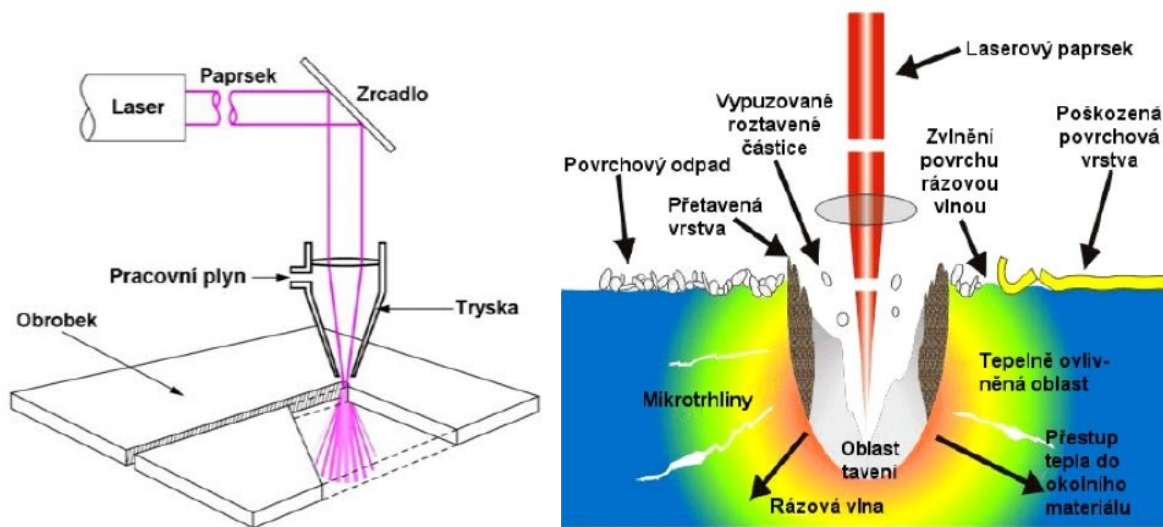
Obr. 3.4 Obrábění paprskem plazmy [2]

3.1.5. Obrábění laserem

Princip laserového obrábění je řezání materiálu vlivem fotonové eroze. Ta působí na materiál tepelným působením světelného záření, rozkládá ho a odstraňuje. Laserový paprsek lze soustředit i na velmi malé plochy. [4]

Laserový paprsek se používá v následujících technologických aplikacích:

- řezání materiálu
- vrtání otvorů
- značkování a popisování
- svařování materiálu
- tepelné zpracování



Obr. 3.5 Obrábění paprskem laseru [2]

Výhody laserového řezání:

- přesnost a kvalita řezu
- řezání složitých tvarů
- vysoká produktivita
- možnost velmi přesného dávkování energie
- vysoká rychlost obrábění i těžko obrobitelných materiálů
- tichý provoz
- bezsilový způsob obrábění

Nevýhody laserového řezání:

- materiál je teplotně ovlivněn
- vysoká pořizovací cena stroje pro řezání laserem
- u některých strojů jsou vysoké provozní náklady

3.2. Nekonvenční metody elektrochemickým nebo chemickým účinkem

3.2.1. Elektrochemické obrábění

Je to řízený proces oddělování materiálu prostřednictvím anodického rozpouštění v elektrolytu, který proudí mezerou mezi elektrodami (anoda – obrobek, katoda – nástroj). Vyrábí se takto tvarově složité součásti (zápustky, lisovací formy, apod.) a obrábí materiály s vysokou tvrdostí a pevností. Touto metodou lze frézovat, vrtat, řezat a brousit. Nástroj má tvar negativu vyráběné součásti a jsou vyráběny z mosazi, bronzů, titanů, SK, apod. [2] Obrábět lze pouze vodivé materiály. Mezi materiály, které jsou elektrochemickým obráběním špatně obrobitelné, patří šedá litina (téměř neobrobitelná), slitiny s velkým obsahem uhlíku a duraly obsahující křemík. [8]

Existují 4 základní způsoby:

- v proudícím elektrolytu
- rotující elektrodou
- leštění
- odstraňování ostřin

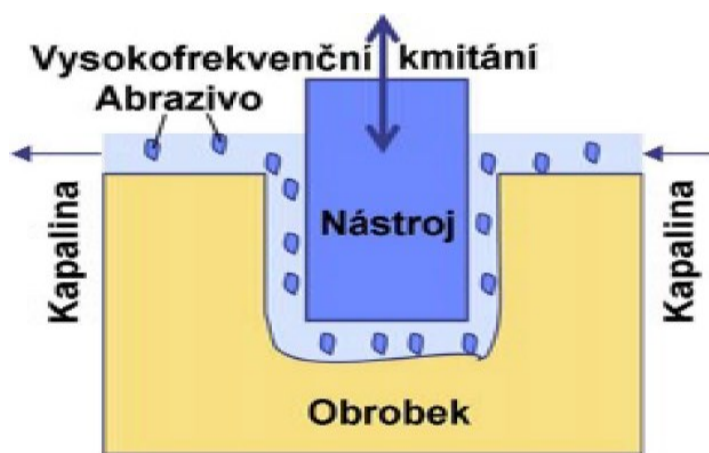
3.2.2. Chemické obrábění

Principem této metody je leptání povrchu obrobku kyselinou. Používají se například kyselina chromitá, dusičná, fluorovodíková a další. Po nanesení kyseliny se z obrobku odleptává malá vrstva materiálu (od několika setin milimetru až po milimetry). U této metody je důležité zakrýt veškerá místa, která nemají být zaleptána, nanesením chemicky odolného povlaku. [13]

3.3. Nekonvenční metody mechanickým účinkem

3.3.1. Obrábění ultrazvukem

Podstatou této metody je rozrušování materiálu působením úderů abrazivních zrn. Tato zrna se nacházejí mezi povrchem a nástrojem, který je rozkmitáván na UZ frekvenci. Abrazivní zrna se rozkmitávají na vysokou frekvenci a poté pronikají do obráběného materiálu. Touto metodou se obrábějí křehké i tvrdé materiály. Jeho velká nevýhoda je, že abrazivní účinek působí, kromě na obrobek i na stroj. [4]



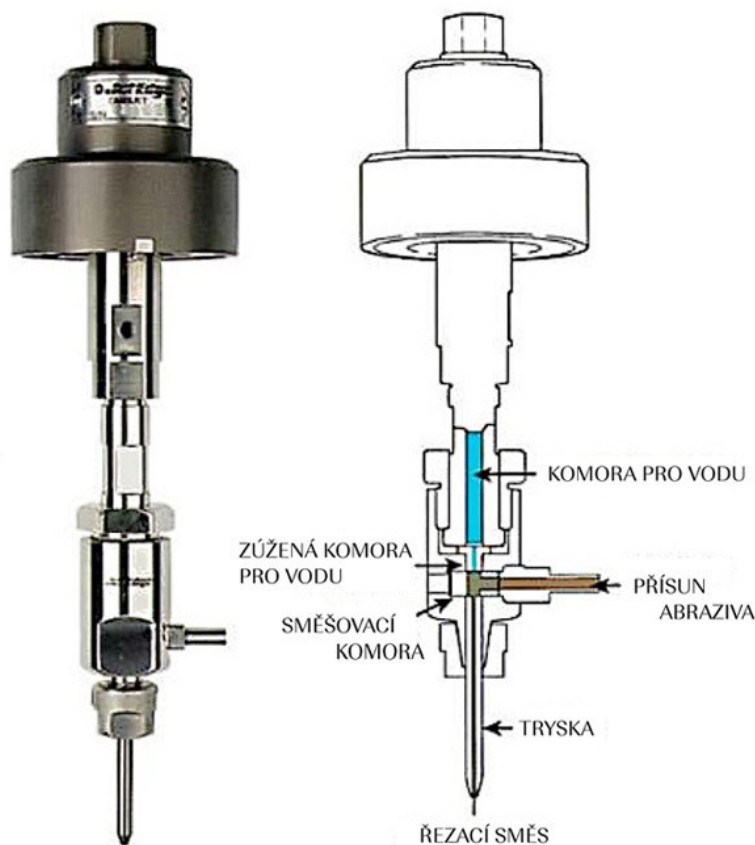
Obr. 3.6 Princip obrábění ultrazvukem [2]

3.3.2. Obrábění vodním paprskem

Řezání a dělení materiálů pomocí vodního paprsku pod názvem hydrodynamické obrábění je známé už několik desetiletí, avšak spolehlivý, stabilní a účinný vodní paprsek na opracování se začal používat začátkem roku 1970 pro dělení dřeva a plastů. Technologický proces využívá úzký vysokotlaký a vysokorychlostní proud vody (tlak vody okolo 400 MPa) jako řezný nástroj. Přidáním jemného brusiva zvýšilo účinnost řezání, což rozšířilo možnosti využití vodního paprsku. [6]

Tato technologie prezentovaná jako abrazivní vodní paprsek (Abrasive Waterjet Machining AWJ) byla komerčně zavedena roku 1983 pro řezání skla. Abrazivní vodní paprsek má široké uplatnění při obrábění a opracovávání kovových a nekovových

materiálů (např. litiny, nerezová ocel, legovaná uhlíková ocel, nástrojová ocel, hliník, měď, titan, beton, keramika, kompozitní materiály s kovovou maticí a jiné.) [6]



Obr. 3.7 Schéma řezání vodním paprskem [5]

Z hlediska použitého pracovního média se rozlišují dvě základní metody:

- WJM – Water Jet Machining – čistý vodní paprsek nebo tzv. hydrodynamické obrábění
- AWJ – Abrasive Waterjet Machining – obrábění abrazivním vodním paprskem – vodní paprsek s přísadou jemného brusiva.

Princip řezání vodním paprskem

Řezání vodním paprskem spočívá v odebírání materiálu mechanickým účinkem dopadu úzkého vodního proudu s vysokou rychlostí a kinetickou energií na jednotku plochy. Abraziva jako přísada znásobuje mechanický účinek dopadu. Paprsek nebo proud vody je generován vysokým tlakem vody, která prochází přes mezeru trysky s průměrem

kolem 0,3 mm. Paprsek vody proniká do obrobku, postupně ztrácí svou kinetickou energii a vychyluje se. [6]

V současnosti se používá dvou základních postupů:

- 1) **řezání čistým vodním paprskem** (papír, lepenka, lamináty, gumotextil, potraviny atd.)
- 2) **řezání vodním paprskem s abrazivem** (oceli, tvrdokovy, sklo, beton, vrstvené kompozity atd.)

Výhody: [7]

- obrábí všechny druhy materiálu kromě diamantu
- obrábění je beznástrojové, takže nedochází k opotřebení nástroje
- řezání je bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu (tzv. studený řez)
- vysoká energetická účinnost
- proces lze plně automatizovat
- zlepšení hygieny práce
- není nutné dodržovat přesnou vzdálenost trysky od povrchu materiálu
- možnost řezat tvarové i zvlněné materiály
- minimální ztráty řezaného materiálu (čistý vodní paprsek 0,1mm, s brusivem kolem 1mm)
- materiál lze řezat pod vodou i ve výbušném prostředí

Nevýhody: [7]

- pořizovací cena 10x vyšší než klasické dělicí stroje
- při obrábění dochází ke kontaktu obráběného materiálu s vodou (může vzniknout koroze)

U řezání vodním paprskem mohou vznikat následující chyby:

- Úkosy:

Zde záleží na rychlosti řezání, pokud je rychlost řezu příliš vysoká, má úkos tvar V, jelikož se nestihne ve spodní části řezu obrobek všechen materiál. Při moc nízké rychlosti

má pak obrobená plocha tvar obráceného V, jak je známo proud vody se při vypouštění z trysky rozšiřuje a proto ubere u spodní části obrobené plochy materiálu více. Pokud chceme mít řez rovný bez úkosů, musí se zvolit správná posuvová rychlost, která závisí na druhu materiálu. Dalším důležitým faktorem je zvolené množství přiváděného abraziva.

- Rýhování povrchu:

Rýhování je další známá vada u vodního paprsku, která vzniká protože paprsek během řezání ztrácí svoji kinetickou energii a vychyluje se. Horní část řezu je proto hladší než spodní. K zamezení rýhování je třeba snížit posuvovou rychlost řezu.

- Koroze:

U citlivých materiálů na vodu, může vznikat koroze, proto je dobré ihned po obrobení, povrch obrobku vysušit a nejlépe nanést antikorozní nátěr.

4. Návrh vhodné technologie pro vybrané součásti

Vybranými součástmi byli desky lisovacího nástroje pro díl BRACKET 1.

Jsou to podpěrné kalené desky u kterých nejsou kladené vysoké nároky na přesnost obrábění. Tolerance v obráběných plochách je $\pm 0,1$ mm a drsnost Ra 3,2 proto předpokládáme, že bude možné desky obrábět i vodním paprskem.

Základní info o nástroji:

- Název dílu BRACKET 1
- Číslo dílu, který nástroj lisuje MBBN31170M1
- Jedná se o nástroj postupový kombinovaný (postupné stříhání a tváření lisu)
- Nástroj 2 výpadový (na jeden zdvih lisu padají dva shodné díly)
- Lisuje se na lise klikovém KAISER 200WR
- Zdvih nástroje je 81 mm
- Počet zdvihů nástroje 50/min
- Krok 33 mm
- Nástroj je chráněn před špatným posunutím pásu optickým čidlem instalovaným přímo v nástroji
- Plánovaná životnost nástroje je 4 000 000 zdvihů.

Obráběné desky:*Obr. 4.1 Opěrná deska H1**Obr. 4.2 Opěrná deska H2*



Obr. 4.3 Opěrná deska H3



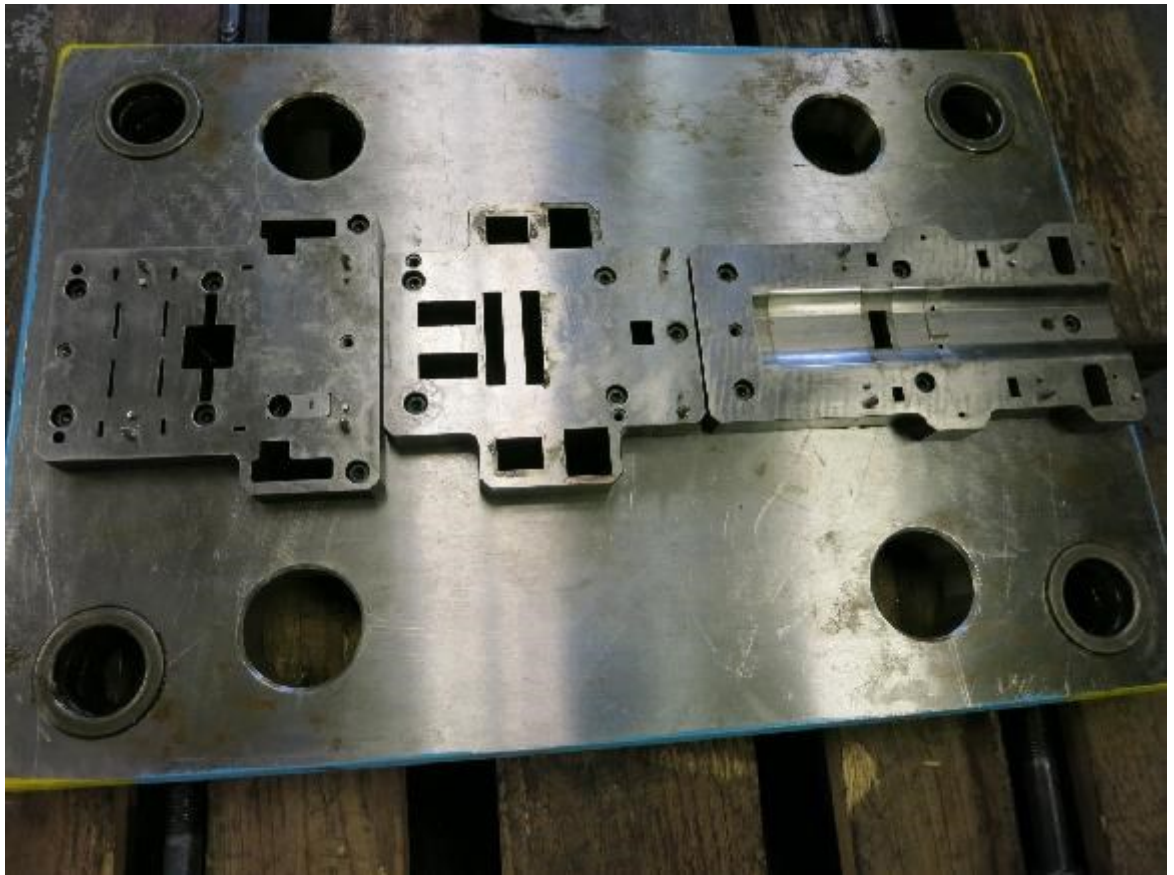
Obr. 4.4 Opěrná deska D1



Obr. 4.5 Opěrná deska D2



Obr. 4.6 Opěrná deska D3



Obr. 4.7 Vodící deska s již osazenými vodícími pouzdry a stíracími deskami

4.1. Současná technologie výroby

4.1.1. Popis stroje Fanuc α -0iD + CNC obráb. centrum MCFV 1060 NT

Firma Klein & Blažek vlastní drátovou řezačku Fanuc α -0iD. Jedná se o nejprodávanější model drátové řezačky v ČR v historii.

Stroj má velmi tuhou a stabilní konstrukci: [15]

- přesný křížový stůl - vedení drátu pevné a pohybuje se stůl s obrobkem
- automaticky řízená hladina vody - hladina automaticky nastavena podle výšky Z-osy
- krytování kuličkových šroubů - kuličkové šrouby ve stálé tukové náplni kryty gumovou manžetou

- velmi tuhý souměrný odlitek - souměrné uspořádání odlitku se zátěžovým tepelným vyvážením
- regulace teploty dielektrické kapaliny
- řezání velkých úhlů - 30° na výšce 150mm

Automatický systém navlékání: [15]

- navlékání drátu pod hladinou vody - obrobek stále ponořený ve vodě, stálá teplota snižena koroze
- navlečení v místě přetržení - do výšky materiálu 40 mm
- navlékání do šikmých otvorů - pod úhlem do 5°

Rychlé a přesné řezání AI řízením pulzů: [15]

- Ai-2 řízení pulzů - přesnější a rychlejší sledování každého výboje
- kruhovitost - do 1 μm
- automatická kompenzace opálení drátu - minimalizace soudkovitosti



Obr. 4.8 Drátová řezačka Fanuc α -0iD

Tab. 4.1 Základní parametry drátové řezačky [14]

Fanuc α -0iD	
Pojezdy os X/Y:	370 x 270 mm
Posuv Z-osy:	255 mm
Maximální obrobek:	700 x 555 x 255 mm
Max. úhel řezu:	$\pm 30^\circ$ / 80 mm
Min. krok pohonu:	0,0001 mm
Max. hmotnost obrobku:	500 kg
Dosažitelná drsnost:	0,1 Ra
Řídicí systém:	FANUC 31 i-Wb
Max. cívka drátu	16 kg (K200)
Rychloposuv	0,9 m·min ⁻¹
Rychlost odvinu drátu	0-15 m·min ⁻¹
Příkon	13 kVA
Objem nádrže	550 l

Dále se součásti obrábí na obráběcím centru MCFV 1060 NT s řídicím systémem Heidenhain TNC 426 PB, které také firma vlastní.

Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060 NT je konstruováno jako stavebnicový stroj pro komplexní obrábění plochých i skříňových součástí z oceli a slitin lehkých kovů upnutých na pracovním stole. Umožňuje provádět frézovací, vrtací, vyvrtávací, vystružovací a závitovací operace ve třech na sebe kolmých souřadných osách X,Y,Z i použití závitovacích hlaviček bez vyrovnávacího pouzdra (RIGID TAPPING) [16]



Obr. 4.9 Obráběcí centrum MCFV 1060 NT

Tab. 4.2 Technické parametry stroje MCFV 1060 NT [78]

Rozměry stolu	1270 x 590 mm
Max. zatížení stolu	900 kg
Pojezdy osy x	1016 mm
Pojezdy osy y	590 mm
Pojezdy osy z	410 mm
Rozsah otáček v 1. stupni	20 – 2000 ot·min ⁻¹
Rozsah otáček v 2. stupni	2001 – 8000 ot·min ⁻¹
Počet nástrojů v zásobníku	24 ks
Max. průměr nástroje	90 mm
Max. délka nástroje	300 mm
Výkon hl. elektromotoru	11 kW
Přesnost v ose x, y, z	0,02 mm
Povrch	Od 0,8 do 6,3 Ra (dle použitého nářadí a materiálu.)

Funkce stroje jsou řízeny CNC řídícím systémem HEIDENHAIN TNC 426 PB, který kromě obrábění běžného u vertikálních obráběcích center umožňuje obrábění i prostorově složitých tvarů, kdy nástroj sleduje dráhu vzniklou jako výstup z 3D CAM programu. [78]

4.1.2. Postup výroby u jednotlivých desek

Technologie výroby je stanovena technologem nástrojárny Klein & Blažek s.r.o. Ve strojních časech CNC obrábění je započítáno i programování CNC frézování, které prováděla obsluha stroje. U kalení a popouštění se počítá cena 77 Kč za kilogram materiálu. U jednotlivých desek H1, H2, D1, D2 byla váha 2,92 Kg, u desek H3 a D3 4,25 Kg. Broušení probíhalo u všech desek současně, vzhledem k úspoře času i nákladů. Broušení u všech opěrných desek se provádělo na tloušťku 10 mm, u vodící desky 35 mm. Všechny tloušťky byly s tolerancí $\pm 0,01$ mm. Postup výroby je převážně stejný pouze u desky D2 se navíc obráběla kapsa s rozměry $13H7 \times 32^{+0,2}_{-0,1}$ hl $5^{+0,05}_{-0,02}$ na CNC frézovacím centru MCFV. U desky D1 bylo použito drátové řezání, kvůli složitějším tvarům na obrábění. Kromě kapsy u desky D2, by se drátové řezání dalo použít na všechny otvory, bohužel tuhle metodu firma zamítla z důvodu vysokého zatížení stroje. Řezání se provádělo drátem HBZ-U 0,25 K160. Než začneme řezat tímto drátem, musí se nejdříve do materiálu předvrtat otvory do kterých se drát navleče.

Tab. 4.3 Výrobní postup opěrné desky H1

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	CNC frézování + CNC vrtání	120	1300
2	Kalení a popouštění	-	225
3	Broušení	30	225
Celkem		150	1750

Tab. 4.4 Výrobní postup opěrné desky H2

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	CNC frézování + CNC vrtání	120	1300
2	Kalení a popouštění	-	225
3	Broušení	30	225
Celkem		150	1750

Tab. 4.5 Výrobní postup opěrné desky H3

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	CNC frézování + CNC vrtání	120	1300
2	Kalení a popouštění	-	327
3	Broušení	30	225
Celkem		150	1852

Tab. 4.6 Výrobní postup opěrné desky D1

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	CNC frézování + CNC vrtání	120	1300
2	Kalení a popouštění	-	225
3	Broušení	30	225
4	Drátové řezání	360	3900
Celkem		510	5650

Tab. 4.7 Výrobní postup opěrné desky D2

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	CNC frézování + CNC vrtání	120	1300
2	Kalení a popouštění	-	225
3	Broušení	30	225
5	CNC frézování kapsy	30	325
Celkem		210	2050

Tab. 4.8 Výrobní postup opěrné desky D3

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	CNC frézování + CNC vrtání	120	1300
2	Kalení a popouštění	-	327
3	Broušení	30	225
Celkem		150	1852

Tab. 4.9 Výrobní postup VD

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Obvodové plochy CNC	150	1 950
2	Vrtání otvorů + závitování CNC	300	3 250
3	CNC vrtání otvorů H7	210	2 275
4	Vrtání + závit M16 (ruční pracoviště)	240	1 800
5	CNC frézování otvorů	300	2 250
5	Broušení	180	1 350
Celkem		1380	12 875

4.2 Nová technologie výroby

4.2.1. Popis stroje PTV WJ3020B-1Z

Firma Zámečnictví-Beran s.r.o, která sídlí v Hrabenově (přibližně 16 km od Štítů) má v současné době vlastní zařízení značky PTV WJ3020B-1Z s CNC stolem a vysokotlakým čerpadlem PTV JETS – 3.8/60 Classic.



Obr. 4.10 Stroj PTV WJ3020B-1Z s CNC stolem pro řezání vodním paprskem [17]

Tab. 4.10 Základní popis zařízení pro řezání vodním paprskem [18]

PTV WJ3020B-1Z	
Pojezdy osy x	3000 mm
Pojezdy osy y	2000 mm
Pojezdy osy z	200 mm
Nosnost ložné plochy řezacího roštu	150kg·m ⁻²
Výška ložné plochy	800 mm
Opakovaná přesnost polohování	0,1 mm
Absolutní přesnost mechaniky	0,15 mm / 300 mm
Pracovní rychlost	1 až 12000 mm·min ⁻¹
Přejezdová rychlost	1 až 12000 mm·min ⁻¹
Pracovní zrychlení	0,01 až 0,5 m·s ⁻¹
Hladina hlučnosti v místě obsluhy	83 dB

Tab. 4.11 Základní popis vysokotlakého čerpadla [18]

PTV JETS - 3.8/60 Classic	
Max. pracovní tlak	415 MPa
Elektrický příkon	37 kW
Množství řezací vody	9,8 l·min ⁻¹
Min. tlak vstupní vody	3,5 bar
Max. tlak vstupní vody	6 bar
Ph řezací vody	6 - 8
Náplň hydraulického oleje	170 l
Typ hydraulického oleje	HM 46

4.2.2. Postup výroby u jednotlivých desek

Ve firmě Zámečnictví-Beran s.r.o. byl proveden pouze řez vodním paprskem, v tabulce značen jako VP a pro větší přehlednost byl ve všech tabulkách zvýrazněn šedou barvou. Ostatní operace jako kalení, CNC frézování kapsy, CNC vrtání + závitování a broušení provádí firma Klein & Blažek s.r.o. Při řezu vodním paprskem bylo použito abrazivo SG SUPER GARNET E+. Podle naměřených celkových strojních časů, byly vypočítány ceny za výrobu jednotlivých desek, kterou si firma hodnotí na 2000 Kč za hodinu práce.

Tab. 4.12 Výrobní postup opěrné desky H1

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Kalení a popouštění	-	225
2	Obrábění obvodu VP	10	333
3	Obrábění vnitřních otvorů VP	15	500
4	Broušení	30	225
Celkem		55	1 283

Tab. 4.13 Výrobní postup opěrné desky H2

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Kalení a popouštění	-	225
2	Obrábění obvodu VP	10	333
3	Obrábění vnitřních otvorů VP	14	467
4	Broušení	30	225
Celkem		54	1 250

Tab. 4.14 Výrobní postup opěrné desky H3

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Kalení a popouštění	-	327
2	Obrábění obvodu VP	12	400
3	Obrábění vnitřních otvorů VP	16	533
4	Broušení	30	225
Celkem		58	1 485

Tab. 4.15 Výrobní postup opěrné desky D1

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Kalení a popouštění	-	225
2	Obrábění obvodu VP	10	333
3	Obrábění vnitřních otvorů VP	19	633
4	Broušení	30	225
Celkem		59	1 416

Tab. 4.16 Výrobní postup opěrné desky D2

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Kalení a popouštění	-	225
2	Obrábění obvodu VP	10	333
3	Obrábění vnitřních otvorů VP	9	300
4	Broušení	30	225
5	CNC frézování kapsy	30	325
Celkem		79	1 408

Tab. 4.17 Výrobní postup opěrné desky D3

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Kalení a popouštění	-	327
2	Obrábění obvodu VP	12	400
3	Obrábění vnitřních otvorů VP	14	467
4	Broušení	30	225
Celkem		56	1 419

Tab. 4.18 Výrobní postup VD

Č.op.	Operace	Čas [min]	Cena [Kč]
1	Obrábění obvodu VP	210	6 999
2	Obrábění vnitřních otvorů VP	140	4 666
3	CNC vrtání otvorů H7	210	2 275
4	Vrtání + závit M16 (ruční pracoviště)	240	1 800
5	Broušení	180	1 350
Celkem		980	17 090

4.3 Materiály obrobených součástí

- **Ocel třídy 19 312**

Vlastnosti:

Nejpoužívanější univerzální nástrojová ocel tzv. "stabilka" se vyznačuje se rozměrovou stálostí při tepelném zpracování a dobrou prokalitelností v oleji. Dobrá kombinace vysoké povrchové tvrdosti a houževnatosti po kalení a popouštění. Je odolná vůči opotřebení s dobrou řezivostí. Je vhodná pro výrobu nástrojů s dobrou trvanlivostí a nízkými provozními náklady. Pevnost 740 MPa Tvrdost ve stavu žíhaném na měkko max. 220 HB Dosažitelná tvrdost po kalení 63 HRC. [19]

Použití:

Používá se pro řezné a lisovací nástroje. Nástroje pro stříhání za studena tj. všechny druhy nástrojů pro stříhání na lisech a děrování materiálů menších tloušťek zejména tvarově složité průstřižnice a průstřižníky, vyžadující velmi dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování. Z oceli 19 312 se dále vyrábí měřidla všeho druhu, šablony, kalibry, pravítka. Vodící pravítka, vodící lišty, kluzné lišty, kluzné vedení, pojezdové lišty. [81]

Tab. 4.19 Chemická analýza oceli 19 312 [19]

C	Si	Mn	P max	S max	Cr	V
0,85-0,95	0,10-0,40	1,90-2,10	0,030	0,030	0,20-0,50	0,05-0,15

- **Ocel 11 523**

Vlastnosti:

Univerzální nelegovaná konstrukční jemnozrná ocel s vysokou vrubovou houževnatostí a zaručenou svařitelností při vyšší mezi kluzu oceli. Ocel je vhodná pro dělení plamenem a plazmou. Pevnost 490 - 630 MPa. Mez kluzu min. 355 MPa. [19]

Použití:

Základní konstrukční ocel, která je určena pro svařované konstrukce a strojní součásti s vyšší mezí kluzu. Vhodnost použití pro statické, ale i dynamicky namáhané konstrukce. Vhodná pro základové desky lisovacích nástrojů, což je i náš případ. Dále se používá pro méně namáhané okrajové desky vstřikovacích forem. [19]

Tab. 4.20 Chemická analýza oceli 11 523 [19]

C	Si	Mn	P max	S max
0,2	0,55	1,60	0,035	0,035

5. Diskuze experimentu

Cílem experimentu je posoudit vhodnost daných výrobních technologií. Porovnávat budeme zejména výrobu na drátové řezačce (stávající technologie) oproti výrobě na vodním paprsku (nová technologie výroby). Posuzovat budeme rychlost výroby a kvality řezu (přesnost a drsnost) obrobených ploch.

5.2. Posouzení stávající technologie

Rychlost výroby

Časy výroby jednotlivých operací jsou zaznamenány v tabulkách výrobních postupů jednotlivých desek. Rychlost výroby na drátové řezačce je u každého řezu jiná. Rychlosti jednotlivých řezů jsou popsány v tabulce Tab. 5.1 . Prováděli se pouze řez 1 a řez 2. Třetí řez už se neprováděl a slouží pouze informativně. Na rychlost má velký vliv tloušťka obráběného materiálu a druh tohoto materiálu.

Tab. 5.1 Řezné rychlosti na drátové řezačce

Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Řezná rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]		
		1. řez	2. řez	3. řez
11 523	35	4,84	4,40	5,22
19 312	10	12,00	8,80	15,20

Kvalita řezu

Kvalita řezu se odvíjí od počtu řezů, které použijeme. V našem případě byli použity řezy dva. Čím více řezů použijeme tím bude mít povrch materiálu menší drsnost a větší přesnost. Po druhém řezu jsme dosáhli drsnosti Ra 1,87 s přesností $\pm 0,04 - 0,06$ jak u opěrných desek, tak i u desky vodící, tato kvalita je dostačující.

Tab. 5.2 Drsnosti povrchu u jednotlivých řezů

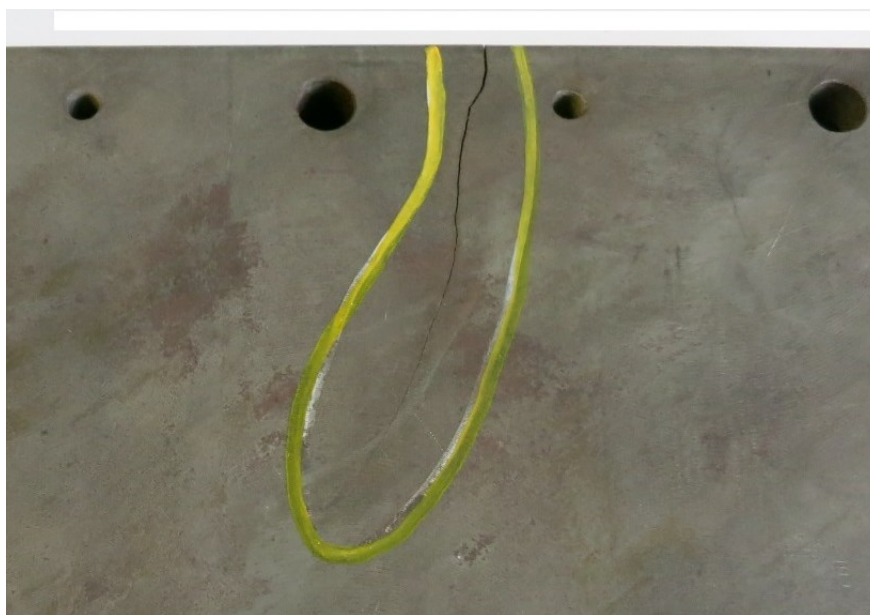
Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Drsnost [Ra]		
		1. řez	2. řez	3. řez
11 523	35	3,12	1,87	0,62
19 312	10	3,12	1,87	0,62

Tab. 5.3 Přesnosti povrchu u jednotlivých řezů

Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Tvarová přesnost [mm]		
		1. řez	2. řez	3. řez
11 523	35	$\pm 0,1 - 0,15$	$\pm 0,04 - 0,06$	$\pm 0,007 - 0,01$
19 312	10	$\pm 0,1 - 0,15$	$\pm 0,04 - 0,06$	$\pm 0,007 - 0,01$

Hodnocení

CNC frézování, CNC vrtání a drátové řezání byly velice přesné metody, které firma používá i v současné době. Bohužel jejich nevýhodou je doba obrábění, ale také i cena výroby. Dále pak můžou vznikat po kalení různé deformace jako například praskání nebo ohýbání materiálu.



Obr. 5.1 Prasklá deska z důvodu kalení po CNC frézování

4.2. Posouzení nové technologie

Rychlost výroby

Řezná rychlost se odvíjí podle tloušťky a druhu materiálu. U tvrdších materiálů se používají nižší rychlosti. U opěrných desek (materiál 19 312 tloušťky 10 mm) byla použita rychlost řezu $75 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. U vodící desky (materiál 11 523 tloušťky 35 mm) pak byla použita rychlost $15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. U vodního paprsku se používá pouze jeden řez.

Tab. 5.4 Řezné rychlosti na vodním paprsku odpovídající kvalitě Q1

Materiál	Tloušťka plechu [mm]	Řezná rychlost [mm·min ⁻¹]
11 523	10	83
	20	46
	30	22
	35	15
19 312	10	75
	20	38
	30	18

Kvalita řezu

Kvalita řezu vychází z rychlosti řezání v závislosti na typu a tloušťce materiálu.

Tab. 5.5 Stupně kvality řezu [11]

Stupeň kvality	Základní charakteristika	Drsnost [Ra] v kontuře		Tvarová přesnost [mm] v kontuře		Úkos
		horní	spodní	horní	spodní	
Q5	nejlepší řez	pod 3,2	cca 3,2	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	Většinou mírný podřez
Q4	kvalitní řez	cca 3,2	cca 6,3	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	Většinou minimální
Q3	střední řez	cca 4,0	do 12,5	$\pm 0,15$	Dle materiálu	Dle materiálu
Q2	hrubý řez	cca 4,0	do 25	$\pm 0,2$	Dle materiálu	Dle materiálu
Q1	dělicí řez	4,0 – 6,3	do 40	$\pm 0,2$	Výrazně nepřesné	Výrazný úkos do +



Obr. 5.2 Jednotlivé stupně kvality řezů [20]

Hodnocení

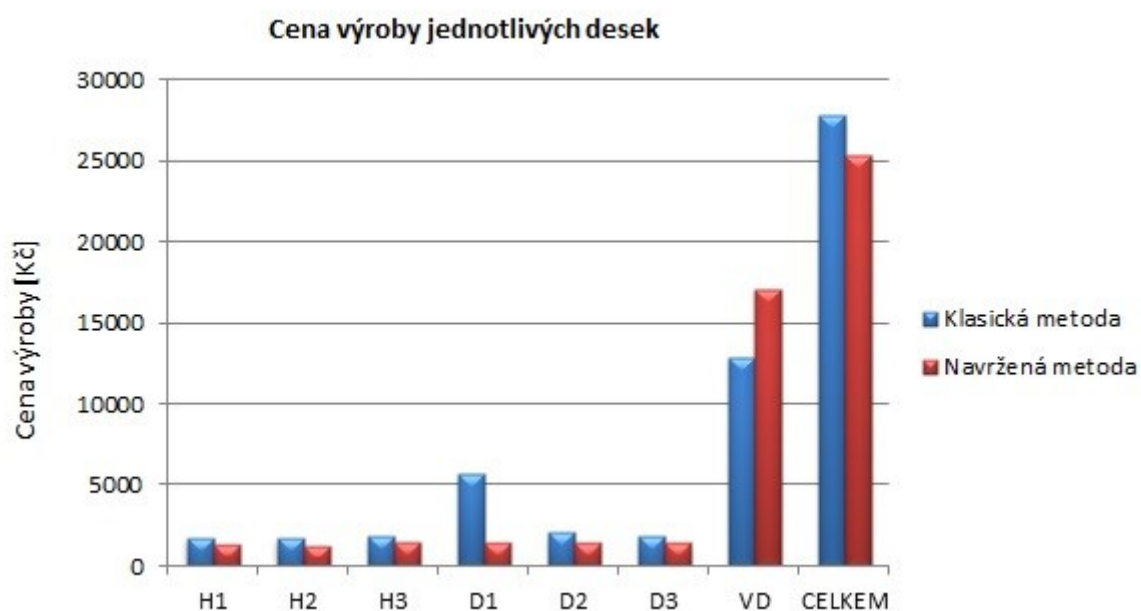
Při řezání vodním paprskem nedochází k tvarovým deformacím, protože zde obrábíme materiál až po kalení. U řezů opěrných desek jsme naměřili drsnost 3,2 Ra s přesností $\pm 0,1$, proto usuzujeme, že se náš řez řadí do stupně kvality řezu Q5 (viz. Tab. 5.5 Stupně kvality řezu) což je nejlepší řez, kterého lze při řezání vodním paprskem dosáhnout. U vodící desky jsme museli použít rychlost řezání menší. Všechny tolerance a přesnosti vyhovovali požadovaným nárokům na výrobu, tudíž je opravdu možné desky vodním paprskem řezat. Dále jsme zjistili, že je řezání vodním paprskem daleko rychlejší, takže ušetříme spoustu času a zároveň i spoustu peněz.

6. Technicko-ekonomické zhodnocení

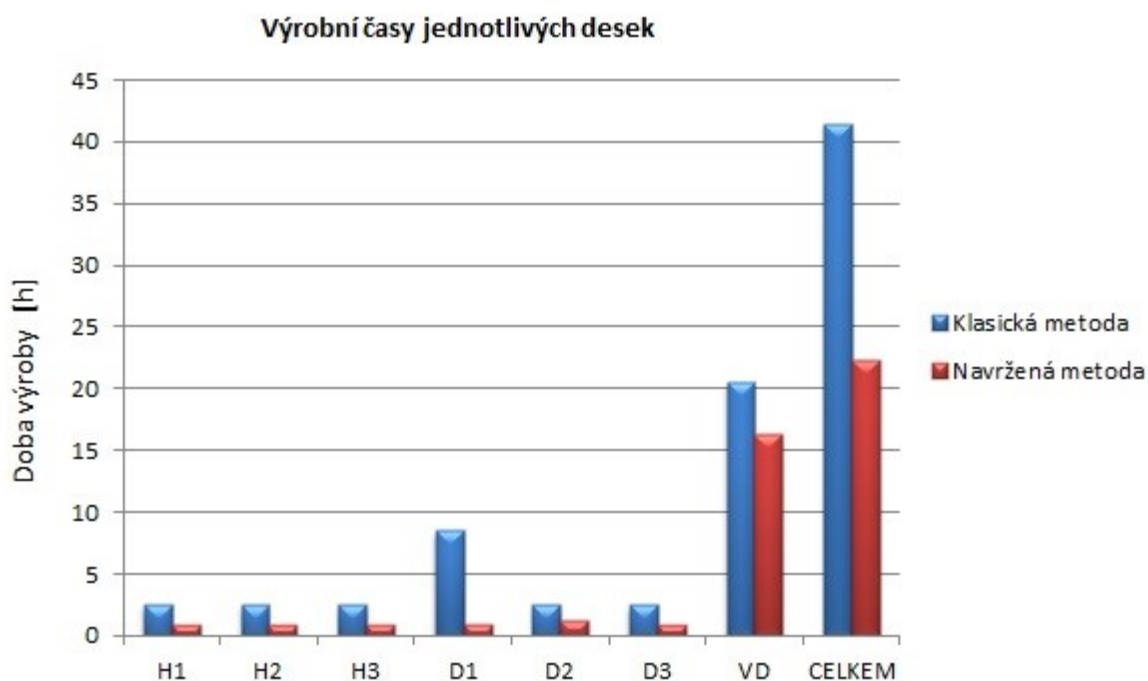
U každé technologie dělení materiálu se dá obrábět s různě kvalitními řezy. Kvality závisí na rychlosti řezání ale i na druhu a tloušťce materiálu.

CNC frézování, CNC vrtání a drátové řezání byly velice přesné metody, které firma používá i v současné době. Všechny tyto metody dosahují vyšších přesností než vodní paprsek. Bohužel jejich nevýhodou je doba, ale také i cena výroby. Dále pak můžou po kalení vznikat různé deformace jako například praskání nebo ohýbání materiálu.

Řezání vodním paprskem mělo dostačující kvalitu řezu, jelikož se obrábění provádělo ideálně zvolenou rychlostí obrábění. Tolerance v obrobených plochách byli $\pm 0,1$ mm a drsnost povrchu Ra 3.2. Jak rozměrové tolerance tak i drsnost byly dodrženy. Pokud by byly nároky na kvalitu řezu vyšší, museli by se na obrobené ploše ještě navíc provést dokončovací operace jako například broušení, tím by se docílilo vyšších přesností i lepších drsností.



Graf 5.1 Cena výroby jednotlivých desek



Graf 5.2 Výrobní časy jednotlivých desek

Celková cena výroby klasickým způsobem byla 27 800 Kč, navrženým způsobem 25 350 Kč. Porovnání doby výroby i ceny jsou znázorněny v grafech (Graf 5.1 a Graf 5.2).

Navržená technologie výroby ušetří firmě 2 450 Kč. Celková doba výroby je u klasického způsobu 41,5 h. U navrženého způsobu 22,35 h, což je přibližně je o 46% kratší doba oproti metodě klasické. Náklady na výrobu i časová náročnost jsou u nové metody nižší a výroba je tím pádem i ekonomičtější. Pouze u vodící desky (VD) byli náklady na výrobu navrženou metodou vyšší, než stávající metodou. Je to z toho důvodu, že firma Zámečnictví-Beran s.r.o. požaduje 2000 Kč což je dost vysoká částka.

7. Závěr

Bakalářská práce se věnuje návrhu nekonvenčních metod obrábění u vybraných desek postupového nástroje pro díl BRACKET 1. Tato práce byla poskytnuta firmou Klein & Blažek se sídlem ve Štítech.

Na začátku proběhlo seznámení s celkovou problematikou a popisem Firmy. Popsány byly druhy nekonvenčních metod obrábění a pro pokus bylo zvoleno obrábění vodním paprskem. Stroj pro obrábění vodním paprskem nám byl poskytnut firmou Zámečnictví-Beran s.r.o., která sídlí v Hraběnově u Rudy nad Moravou. Po porovnání současné a navržené technologie výroby, se ukázala navržená technologie výroby vodním paprskem jako daleko rychlejší i levnější způsob, než výroba stávajícími technologiemi.

Tato práce je pro firmu Klein & Blažek s.r.o. tedy přínosná a je jen na nich pokud začnou navržený výrobní postup používat.

V plánu bylo porovnat ještě technologii řezání laserem, ale z důvodu provádění instalace nového laserového zařízení ve firmě KOMFI Svěbohov, nebylo možno laserové řezání posoudit s ostatními metodami.

Seznam použité literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. [I]Nové směry v progresivním obrábění[I]. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978–80–248–1505–3.
- [2] ČEP, R; BRYCHTA, J; NOVÁKOVÁ, J. *Technologie II, 2.díl*. Ostrava, 142s. Učební texty, VŠB TU Ostrava.
- [3] Klein & Blažek spol. s.r.o. [Online]. [cit.2014-2-1]. Dostupné z WWW: <www.kleibl.cz>
- [4] MÁDL, J., AJ. *Technologie obrábění - 1., 2., 3. díl*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT 2000. 3. sv. 246 s. ISBN 80-01-02091-6.
- [5] *Vodní paprsek* [online]. [cit.2014-2-1]. Dostupný z WWW:<http://www.pkit.cz/img/rezani-vodnim-paprskem/rezani-vodnim-paprskem.jpg>
- [6] Manková, Ildikó.: *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-7099-430-4
- [7] FYZIKÁLNÍ (NEKONVENČNÍ) TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ [Online]. [cit.2014-2-1]. Dostupný z WWW: <<http://www.strojnylyceum.wz.cz/maturita/tep/tep5.pdf>>
- [8] MM Průmyslové Spektrum. Nekonenční metody obrábění 2 [online]. [cit.2014-2-1] Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvenncni-metody-obrabeni-2-2.html>>
- [9] Broušení. Wikipedia CS [online]. [cit.2014-2-1]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Brou%C5%A1en%C3%AD>>

- [10] PLAZMACZ. Řezání plazmou. [online]. [cit.2014-2-15] Dostupné z WWW: <<http://www.plazmacz.cz/rezani-plazmou/>>
- [11] CHPS. Kvalita a cena [online]. [cit.2014-2-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.chps.cz/vodni-paprsek/kvalita-a-cena.html>>
- [12] MM Průmyslové Spektrum. Elektroerozivní obrábění [online]. [cit.2014-2-1] Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/elektroerozivni-obrabeni.html>>
- [13] Mgr. Jan Hamerník. Speciální metody obrábění [online]. [cit.2014-2-15]. Dostupný z WWW: <http://jhamernik.sweb.cz/Specialni_metody.htm>
- [14] FANUC ROBOCUT. Technická dokumentace PDF. [online]. [cit.2014-2-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.dolas.cz/pdf/edm.pdf>>
- [15] Elektroerozivní obrábění. Drátová řezačka Fanuc α -0iD [online]. [cit.2014-2-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.peroz.cz/strojni-vybaveni/dratova-rezacka-fanuc-0id>>
- [16] Technická dokumentace ke stroji MCFV 1060 NT ve firmě Klein & Blažek spol. s.r.o.
- [17] Vodní paprsek. [online]. [cit.2014-2-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.zamecnictvi-beran.cz/obr/nasstroj.JPG>>
- [18] PTV. Technická dokumentace ke stroji ve firmě Zámečnictví-Beran s.r.o. 2008.
- [19] Převodník materiálu. [online]. [cit.2014-2-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal>>
- [20] ELNA Servis s.r.o. Kvalita řezu. [online]. [cit.2014-2-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.elnaservis.cz/voda.htm>>

Seznam obrázků, grafů a tabulek

- Obr.1.1 Klein & Blažek spol. s r.o. závod 1 (lisovna) – str. 11
- Obr.1.2 Klein & Blažek spol. s r.o. závod 2 (tírna) – str.11
- Obr. 3.1 Elektroerozivní obrábění – str.17
- Obr. 3.2 Elektrojiskrové hloubení – str.19
- Obr. 3.3 Elektrojiskrové řezání – str.20
- Obr. 3.4 Obrábění paprskem plazmy – str. 21
- Obr. 3.5 Obrábění paprskem laseru – str. 22
- Obr. 3.6 Princip obrábění ultrazvukem – str. 24
- Obr. 3.7 Schéma řezání vodním paprskem – str. 25
- Obr. 4.1 Opěrná deska H1 – str. 29
- Obr. 4.2 Opěrná deska H2 – str. 29
- Obr. 4.3 Opěrná deska H3 – str. 30
- Obr. 4.4 Opěrná deska D1 – str. 30
- Obr. 4.5 Opěrná deska D2 – str. 31
- Obr. 4.6 Opěrná deska D3 – str. 31
- Obr. 4.7 Vodící deska s již osazenými vodícími pouzdry a stíracími deskami – str. 32
- Obr. 4.8 Drátová řezačka Fanuc α -0iD – str. 33
- Obr. 4.9 Obráběcí centrum MCFV 1060 NT – str. 35
- Obr. 4.10 Stroj PTV WJ3020B-1Z s CNC stolem pro řezání vodním paprskem – str. 39
- Obr. 5.1 Prasklá deska z důvodu kalení po CNC frézování – str. 46
- Obr. 5.2 Jednotlivé stupně kvality řezů – str. 47
- Graf 5.1 Cena výroby jednotlivých desek – str. 49
- Graf 5.2 Výrobní časy jednotlivých desek – str. 49
- Tab. 3.1 Posouzení vhodnosti nekonvenčních metod pro opracování vybraných druhů konstrukčních materiálů. – str. 16
- Tab. 4.1 Základní parametry drátové řezačky – str. 34
- Tab. 4.2 Technické parametry stroje MCFV 1060 NT – str. 35
- Tab. 4.3 Výrobní postup opěrné desky H1 (současná technologie) – str. 36
- Tab. 4.4 Výrobní postup opěrné desky H2 (současná technologie) – str. 37

- Tab. 4.5 Výrobní postup opěrné desky H3 (současná technologie) – str. 37
- Tab. 4.6 Výrobní postup opěrné desky H1 (současná technologie) – str. 37
- Tab. 4.7 Výrobní postup opěrné desky H2 (současná technologie) – str. 37
- Tab. 4.8 Výrobní postup opěrné desky H3 (současná technologie) – str. 38
- Tab. 4.9 Výrobní postup VD (současná technologie) – str. 38
- Tab. 4.10 Základní popis zařízení pro řezání vodním paprskem – str. 39
- Tab. 4.11 Základní popis vysokotlakého čerpadla – str. 39
- Tab. 4.12 Výrobní postup opěrné desky H1 (nová technologie) – str. 40
- Tab. 4.13 Výrobní postup opěrné desky H2 (nová technologie) – str. 40
- Tab. 4.14 Výrobní postup opěrné desky H3 (nová technologie) – str. 41
- Tab. 4.15 Výrobní postup opěrné desky H1 (nová technologie) – str. 41
- Tab. 4.16 Výrobní postup opěrné desky H2 (nová technologie) – str. 41
- Tab. 4.17 Výrobní postup opěrné desky H3 (nová technologie) – str. 42
- Tab. 4.18 Výrobní postup VD (nová technologie) – str. 42
- Tab. 4.19 Chemická analýza oceli 19 312 – str. 43
- Tab. 4.20 Chemická analýza oceli 11 523 – str. 43
- Tab. 5.1 Řezné rychlosti na drátové řezačce – str. 44
- Tab. 5.2 Drsnosti povrchu u jednotlivých řezů – str. 44
- Tab. 5.3 Přesnosti povrchu u jednotlivých řezů – str. 45
- Tab. 5.4 Řezné rychlosti na vodním paprsku odpovídající kvalitě Q1 – str. 46
- Tab. 5.5 Stupně kvality řezu – str. 46

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. z katedry obrábění a montáže VŠB–TU Ostrava za veškeré jeho poznámky k mé práci, jeho cenné rady, dále bych chtěl poděkovat panu Miroslavu Babištovi z Firmy Klein & Blažek, že mi věnoval svůj čas, také za poskytnutí studijních podkladů k mé práci a jako poslední bych chtěl poděkovat i Firmě Zámečnictví-Beran, která nám umožnila pokus přístup k vodnímu paprsku.

Jiří Kubíček